

Semic conductor light emitting device and method for producing the samePatent Number: US2001017874

Publication date: 2001-08-30

Inventor(s): ISHIDA MASAYA (JP)

Applicant(s):

Requested Patent: JP2001298214

Application Number: US20010780295 20010209

Priority Number(s): JP20000032844 20000210; JP20010028914 20010205

IPC Classification: H01S5/00

EC Classification: H01S5/343G, H01L33/00C3D, H01L33/00C4D3C

Equivalents:

Abstract

A semiconductor light emitting device comprises: a substrate; an n-type layer provided on the substrate and made of a nitride semiconductor material; a multiple quantum well structure active layer including a plurality of well layers each made of $In_xGa(1-x-y)Al_yN$ ($0 < x, 0 \leq y, x+y < 1$) and a plurality of barrier layers each made of $In_sGa(1-s-t)Al_tN$ ($0 \leq s, 0 \leq t, s+t < 1$), the multiple quantum well structure active layer being provided on the n-type layer; and a p-type layer provided on the multiple quantum well structure active layer and made of a nitride semiconductor material. The p-type layer contains hydrogen, and the hydrogen concentration of the p-type layer is greater than or equal to about 1×10^{16} atoms/cm³ and less than or equal to about 1×10^{19} atoms/cm³.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-298214

(P2001-298214A)

(43)公開日 平成13年10月26日(2001.10.26)

(51)Int.C1.⁷

識別記号

H 0 1 L 33/00

F I

テーコード(参考)

21/205

H 0 1 L 33/00

C

H 0 1 S 5/343

21/205

H 0 1 S 5/343

審査請求 未請求 請求項の数 8

O L

(全13頁)

(21)出願番号 特願2001-28914(P2001-28914)

(71)出願人 000005049

(22)出願日 平成13年2月5日(2001.2.5)

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(31)優先権主張番号 特願2000-32844(P2000-32844)

(72)発明者 石田 真也

(32)優先日 平成12年2月10日(2000.2.10)

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ヤープ株式会社内

(33)優先権主張国 日本 (JP)

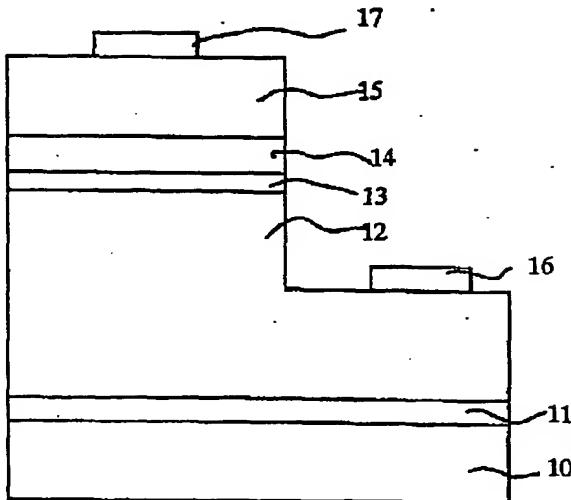
(74)代理人 100078282

弁理士 山本 秀策

(54)【発明の名称】半導体発光素子およびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 長寿命の半導体発光素子を提供すること
【解決手段】 半導体発光素子1は、基板10と、基板10の上に積層され、窒化物半導体材料から形成されたn型層12と、それぞれが $In_xGa_{(1-x-y)}Al_yN$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y < 1$) から形成された複数の井戸層と、それぞれが $In_sGa_{(1-s-t)}Al_tN$ ($0 \leq s, 0 \leq t, s+t < 1$) から形成された複数の障壁層とを有し、n型層12の上に積層された多層量子井戸構造活性層13と、多層量子井戸構造活性層13の上に積層され、窒化物半導体材料から形成されたp型層15とを備えている。p型層15に含まれる前記水素元素の濃度は、 $1 \times 10^{16} atoms/cm^3$ 以上 $1 \times 10^{19} atoms/cm^3$ 以下である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、

前記基板の上に積層され、窒化物半導体材料から形成されたn型層と、

それぞれが $In_xGa_{(1-x-y)}Al_yN$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y < 1$) から形成された複数の井戸層と、それぞれが $In_sGa_{(1-s-t)}Al_tN$ ($0 \leq s, 0 \leq t, s+t < 1$) から形成された複数の障壁層とを有し、前記n型層の上に積層された多層量子井戸構造活性層と、前記多層量子井戸構造活性層の上に積層され、窒化物半導体材料から形成されたp型層とを備え、

前記p型層は水素元素を含み、前記p型層に含まれる前記水素元素の濃度は、 $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ 以下である、半導体発光素子。

【請求項2】 前記p型層はMg元素を含み、前記p型層に含まれるMg元素の濃度は、 $4 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ 以下である、請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項3】 前記半導体発光素子は、前記p型層を介して前記多層量子井戸構造活性層に電圧を印加するためのp型電極をさらに備え、前記n型電極は、Pd、Sc、Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Tb、Ti、Zr、Hf、V、NbおよびTaからなる群より選択された元素を含む、請求項1または2に記載の半導体発光素子。

【請求項4】 前記n型層における水素濃度は、 $1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下である、請求項1～3のいずれかに記載の半導体発光素子。

【請求項5】 前記半導体発光素子は、Alを含む層をさらに備え、前記p型層は、前記Alを含む層を介して前記多層量子井戸構造活性層の上に積層されている、請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項6】 前記Alを含む層の層厚は5nm以上である、請求項5に記載の半導体発光素子。

【請求項7】 基板の上に、窒化物半導体材料を成長させることによってn型層を形成するステップと、前記n型層の上に、それぞれが $In_xGa_{(1-x-y)}Al_yN$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y < 1$) から形成された複数の井戸層と、それぞれが $In_sGa_{(1-s-t)}Al_tN$ ($0 \leq s, 0 \leq t, s+t < 1$) から形成された複数の障壁層とを有する多層量子井戸構造活性層を形成するステップと、

前記多層量子井戸構造活性層の上に、窒化物半導体材料を成長させることによってp型層を形成するステップとを包含し、

前記p型層を形成するステップは、前記基板の温度を第1の成長温度に保ちつつ、水素ガスを含まない雰囲気中で窒化物半導体材料を成長させるステップを包含する、半導体発光素子の製造方法。

【請求項8】 前記p型層を形成する前記ステップは、水素ガスを含まない雰囲気中で窒化物半導体を成長する前記ステップを行った後に、水素ガスを含まない雰囲気中で前記基板の温度を前記第1の成長温度から400°Cまで降下させるステップをさらに包含する、請求項7に記載の半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、窒素を主成分とするIII-V族化合物半導体発光素子構造および発光素子の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、GaN系化合物半導体を用いた高輝度の青色発光ダイオードが実用化されるとともに、青色レーザダイオードの開発が盛んに行なわれている。このように、III-V族窒化物系化合物半導体は発光デバイスの材料として非常に注目されている。

【0003】 従来から、窒化物半導体は、ハイドライド気相成長法（以下、本明細書中でHVPE法と呼ぶ）、有機金属気相成長法（以下、本明細書中でMOCVD法と呼ぶ）または分子線エピタキシー法（以下、本明細書中でMBE法と呼ぶ）等により成長されている。

【0004】 III-V族窒化物系化合物半導体の場合、バルク結晶の作成が非常に困難なため、III-V族窒化物系化合物半導体の素子を成長するためのIII-V族窒化物系化合物半導体基板を得ることが非常に困難である。そのため、通常はサファイア基板が用いられる。しかし、GaNとサファイア基板との間の格子不整合が大きく、成長したGaN膜は $10^9 \sim 10^{10}/\text{cm}^2$ 程度の欠陥が存在している。この欠陥は、素子の光出力および寿命に影響する。そこで、GaNの選択成長を用いて欠陥を減少させた厚膜GaNの擬似GaN基板を用いて素子が作成され、レーザの室温連続発振が実現されている。

【0005】 化合物半導体の発光素子において、欠陥と並んで問題になるのが素子の中に含まれる残留不純物である。砒素系、燐系化合物半導体では素子に含まれる酸素、炭素が素子の特性及び寿命に大きく影響するため、このような残留不純物を減少させる様々な取り組みが行われてきた。

【0006】 III-V族窒化物系化合物の発光素子で問題になる残留不純物は水素である。窒化物系化合物半導体の素子構造を上述した方法で成長する場合、原料として有機金属、アンモニアが用いられ、キャリアガスとして水素または水素化合物（例えば、塩化水素）が用いられる。

【0007】 このため、窒化物系化合物半導体の成長膜中には残留の水素が存在する。特に、窒化物系化合物半導体の発光素子では必須であるp型層を成長させる場合には、残留の水素が存在しやすくなる。p型層のドーバ

ントであるMg、Zn等は水素と結合しやすいからである。例えば、Appl. Phys. Lett., Vol 72 (1998)、pp 1748には、MOCVD法により堆積された窒化物系化合物半導体の成長膜中の残留水素の濃度は、Mg濃度が $2 \sim 3 \times 10^{19}$ atoms/cm³の場合に $2 \sim 3 \times 10^{19}$ atoms/cm³であり、Mgの濃度の上昇とともに残留水素の濃度も増加することが示されている。

【0008】水素がMg、Zn等のp型ドーパントと結合した場合には、ドーパントの活性化が妨げられるためにp型層が高抵抗化する。

【0009】水素でp型層が高抵抗化することを防止する手段として、特許第2540791号に開示される技術が知られている。特許第2540791号に開示される技術では、p型不純物をドーピングしたIII-V族窒化物系半導体を成長後、水素を含まない雰囲気中で400°C以上の温度でアニーリングが行なわれる。このアニーリングにより、p型不純物をドーピングしたIII-V族窒化物系半導体から水素を出し、低抵抗のp型III-V族窒化物系半導体が得られる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】特許第2540791号公報に開示されるような、水素を含まない雰囲気中のアニーリングだけでは、p型層中の水素を十分抜くことができない。このため、p型層中の残留水素がp型不純物の活性化を妨げるとともに、作製した素子の寿命の低下を招くという問題点があった。残留水素が、通電中に徐々に拡散し、活性層を劣化させるためである。特許第2540791号公報報は、p型層を成長する場合における雰囲気について言及していない。

【0011】また、活性層がInを含む場合には、水素の拡散と共にMg、Inも拡散を起こす。特に活性層が薄膜である量子井戸構造を採用する場合、Mgの拡散と共に、Inが拡散することによる活性層の劣化が著しい。

【0012】また、n型層の残留水素濃度が大きい場合にも、n型層の抵抗が上昇することにより素子特性が悪化する。

【0013】本発明は、このような問題点に鑑みてなされたものであって、長寿命の半導体素子を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明の半導体発光素子は、基板と、前記基板の上に積層され、窒化物半導体材料から形成されたn型層と、それそれがIn_xGa_(1-x-y)Al_yN (0 ≤ x, 0 ≤ y, x+y < 1) から形成された複数の井戸層と、それそれがIn_sGa_(1-s-t)Al_tN (0 ≤ s, 0 ≤ t, s+t < 1) から形成された複数の障壁層とを有し、前記n型層の上に積層された多層量子井戸構造活性層と、前記多層量子井戸構造活性

層の上に積層され、窒化物半導体材料から形成されたp型層とを備え、前記p型層は水素元素を含み、前記p型層に含まれる前記水素元素の濃度は、 1×10^{16} atoms/cm³以上 1×10^{19} atoms/cm³以下であり、これにより上記目的が達成される。

【0015】前記p型層はMg元素を含み、前記p型層に含まれるMg元素の濃度は、 4×10^{18} atoms/cm³以上 1×10^{21} atoms/cm³以下であってもよい。

10 【0016】前記半導体発光素子は、前記p型層を介して前記多層量子井戸構造活性層に電圧を印加するためのp型電極をさらに備え、前記p型電極は、Pd、Sc、Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Tb、Ti、Zr、Hf、V、NbおよびTaからなる群より選択された元素を含んでもよい。

【0017】前記n型層における水素濃度は、 1×10^{17} atoms/cm³以下であってもよい。

【0018】前記半導体発光素子は、Alを含む層をさらに備え、前記p型層は、前記Alを含む層を介して前記多層量子井戸構造活性層の上に積層されていてよい。

20 【0019】前記Alを含む層の層厚は5nm以上であってもよい。

【0020】本発明の半導体素子を製造する方法は、基板の上に、窒化物半導体材料を成長させることによって構n型層を形成するステップと、それぞれがIn_xGa_(1-x-y)Al_yN (0 ≤ x, 0 ≤ y, x+y < 1) から形成された複数の井戸層と、それぞれがIn_sGa_(1-s-t)Al_tN (0 ≤ s, 0 ≤ t, s+t < 1) から形成され

30 た複数の障壁層とを有する多層量子井戸構造活性層を形成するステップと、前記多層量子井戸構造活性層の上に、窒化物半導体材料を成長させることによってp型層を形成するステップとを包含し、前記p型層を形成するステップは、前記基板の温度を第1の成長温度に保ちつつ、水素ガスを含まない雰囲気中で窒化物半導体材料を成長させるステップを包含し、これにより上記目的が達成される。

【0021】前記p型層を形成する前記ステップは、水素ガスを含まない雰囲気中で窒化物半導体を成長する前記ステップを行った後に、水素ガスを含まない雰囲気中で前記基板の温度を前記第1の成長温度から400°Cまで降下させるステップをさらに包含してもよい。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態を説明する。

【0023】(実施例1) 本発明の実施例1として、発光ダイオード(LED)の例を示す。

【0024】図1は、本発明の実施例1のLED素子1の断面図である。LED素子1は、以下に示される手順により作成された。

【0025】サファイア(0001面)基板10上に常圧MOCVD法によりAlNバッファ層11を基板温度550°Cで成長し、基板温度1100°CでGaN:Siのn型コンタクト層12を5μm成長させた。なお、「GaN:Si」は、SiをドープしたGaNを意味する。この成長段階でのV/I II比は2000であった。この成長段階までのキャリアガスと有機金属のバーリングガスとはともに水素である。

【0026】次に基板温度を760°Cに下降させ、キャリアガスおよび有機金属のバーリングガスを窒素に切り替え、反応炉内のガス中における酸素分圧が0.7 Torrの条件下で、In_{0.35}Ga_{0.65}N:Siの井戸層(膜厚2nm)およびGaN:Siの障壁層(膜厚4nm)の5周期の多層量子井戸構造活性層13を成長させ、同温度でAl_{0.1}Ga_{0.9}N:Mgの蒸発防止層14を20nm成長させた。その後、基板温度を1050°Cに上昇させ、GaN:Mgのp型コンタクト層15を0.3μm成長させた。このように、p型コンタクト層15(p型層)を形成するステップは、基板温度を1050°Cの(第1の成長温度)に保ちつつ、水素ガスを含まない雰囲気中で窒化物半導体材料を成長させるステップを包含する。なお、キャリアガスおよび有機金属のバーリングガスとしては、アルゴン、ヘリウム等の水素以外の不活性ガスであってもよい。

【0027】以上のような発光素子構造をサファイア基板10上に成長後、キャリアガスは水素ガスのままで、成長後の基板温度降下を行った。このように、p型コンタクト層15を形成した後に、サファイア基板10の温度は、水素ガスを含まない雰囲気中で1050°Cから400°C以下まで降下させられる。水素ガスを含まない雰囲気中の温度降下は、必ずしも室温まで行なわれる必要はない。少なくとも基板温度が400°Cに降下するまでの間の雰囲気が水素ガスを含まないようにすればよい。

【0028】素子構造が成長したウェハを2分割し、一方のウェハにn型コンタクト層12が露出するまでエッチングを行い、n型コンタクト層12の表面に、Au/Moのn型電極16を形成し、p型コンタクト層15の表面に、Au/Niのp型電極17を形成することにより、LED素子1が作成された。ここで、「Au/Mo」とは、AuとMoとの多層構造により電極が構成されていることを意味する。

【0029】LED素子1は、駆動電流20mAで発光波長470nm、輝度3cdで発光した。このときの動作電圧は3.3Vであった。LED素子1を室温、駆動電流20mAの条件下で1000時間通電試験を行った結果、1000時間通電試験後も発光波長、輝度および動作電圧に変化はみられず、長寿命のLED素子が実現された。

【0030】図1に示されるように、本発明のLED素

子1(半導体発光素子)は、サファイア基板10(基板)と、サファイア基板10の上にバッファ層11を介して積層され、GaN:Si(窒化物半導体)から形成されたn型コンタクト層12(n型層)と、n型コンタクト層12の上に積層された多層量子井戸活性層13と、多層量子井戸活性層13の上に蒸発防止層14を介して積層され、GaN(窒化物半導体)から形成されたp型コンタクト層15(p型層)とを備えている。

【0031】SIMS(Secondary Ion Mass Spectrometry)測定により、LED素子1のMg濃度と水素濃度との評価を行った。なお、このSIMS測定は、2分割したウェハの他方を用いて行なわれた。

【0032】図2は、SIMS測定により測定された素子構造中のMg濃度と水素濃度とを示す。p型コンタクト層15のMg濃度は7×10¹⁹atoms/cm³であり、水素濃度は2×10¹⁸atoms/cm³である。また、n型コンタクト層12の水素濃度は1×10¹⁷atoms/cm³の検出限界以下であることが判明した。なお、長寿命のLED素子を実現するためには、p型コンタクト層15の水素濃度は1×10¹⁶atoms/cm³以上1×10¹⁹atoms/cm³以下であることが好ましい。また、p型コンタクト層15のMg濃度は、4×10¹⁹atoms/cm³以上1×10²¹atoms/cm³以下であることが好ましい。p型コンタクト層15中のMg濃度が高くなると、p型コンタクト層15中の水素濃度も高くなってしまい、好ましくない。

【0033】本実施例では、p型コンタクト層15が成長する際の反応炉内のガス中における酸素分圧は0.7 Torrであった。反応炉内のガス中における酸素を増加すると、p型コンタクト層15の水素濃度が減少した。これは、酸素が水素と結合することによって、p型コンタクト層15中の水素(残留水素)が除去されるためであると考えられる。従って、反応炉内のガス中における酸素の濃度を制御することにより、p型コンタクト層15の水素濃度を制御することができる。反応炉内のガス中における酸素分圧の全圧に対する割合が、0.0001%以上(7.6×10⁻⁵Torr以上)1%以下(7.6Torr以下)であれば、p型コンタクト層15の水素濃度は4×10¹⁸atoms/cm³以下であることが判明した。なお、反応炉内のガス中における酸素の濃度を制御する代わりに、あるいは、酸素の濃度を制御することに加えて、反応炉内のガス中における臭素、塩素、オゾン、CO、CO₂、NOおよびNO₂の濃度の少なくとも1つを制御することによっても、p型コンタクト層15の水素濃度を制御することができる。

【0034】比較例1として、上述した成長方法と同様の成長方法を用いて、活性層13をIn_{0.35}Ga_{0.65}N:Siの単層(膜厚20nm)にしたLED素子

を作製した。S I M S測定を行った結果、比較例1のLED素子のp型コンタクト層のMg濃度は 7×10^{19} atoms/cm³で水素濃度は 2×10^{18} atoms/cm³であり、図2に示されるS I M Sプロファイルと同様のS I M Sプロファイルが得られた。このLEDランプの輝度を測定した結果、駆動電流20mAで発光波長470nm、輝度1.5cdで、動作電圧は3.3Vであった。

【0035】比較例2として、多層量子井戸構造活性層13の成長段階まではLED素子1と同様の成長方法を用いて同様に成長させ、多層量子井戸構造活性層13成長後にキャリアガスおよび有機金属のバーリングガスを水素に切り替え、Al_xGa_{1-x}N:Mgの蒸発防止層14を20nm、p型コンタクト層15を0.3μm成長させ、素子構造成長後、キャリアガスは水素ガスのままで、成長後の基板温度降下を行う従来の方法を用いてLED素子を作成した。この素子は、熱アニールなしではp型コンタクト層15が高抵抗であるため、窒素雰囲気中800°Cで20分間熱アニールを行うことによりp型コンタクト層15を低抵抗化した。

【0036】熱アニールの後S I M S測定を行った結果、p型コンタクト層15のMg濃度は 7×10^{19} atoms/cm³で、水素濃度は 6×10^{18} atoms/cm³であることが判明した。比較例2のLEDランプの輝度を測定した結果、駆動電流20mAで発光波長470nm、輝度2.6cdで、動作電圧は3.7Vであった。

【0037】また、比較例3として、比較例2と同様の成長方法を使用して、活性層13をIn_{0.35}Ga_{0.65}N:Siの単層(層厚20nm)にした素子を作製し、比較例2と同様に熱アニール後LEDランプを作製した。熱アニール後S I M S測定を行った結果、p型コンタクト層15のMg濃度は 7×10^{19} atoms/cm³で水素濃度は 6×10^{18} atoms/cm³で比較例3と同様であった。比較例3のLEDランプの輝度を測定した結果、駆動電流20mAで発光波長470nm、輝度1.2cdで、動作電圧は3.7Vであった。

【0038】図3は、実施例1のLED素子1および比較例1～3のLED素子の通電試験(エージング)結果を示す。1000時間通電後の比較例2のLED素子の輝度が著しく低下することが分かる。また、単層の活性層を有する比較例1は、1000時間通電後の輝度の低下がみられる。これに対して、実施例1のLED素子1では1000時間通電後の輝度の低下が見られず、長寿命のLED素子が実現されている。実施例1と比較例1とを比較すると、p型コンタクト層15中の水素濃度を低減することによってLED素子の寿命が延びる効果は、LED素子が多層量子井戸構造活性層を有する場合に大きいことが分かる。

【0039】図4(a)、(b)、(c)および(d)

はそれぞれ、本実施例のLED素子1、比較例1、比較例2および比較例3のLED素子のエージング前の活性層周辺のS I M Sプロファイルを示す。図4(e)、(f)、(g)および(h)はそれぞれ、本実施例のLED素子1、比較例1、比較例2および比較例3のLED素子の1000時間エージング後の活性層周辺のS I M Sプロファイルを示す。図4(a)、(c)、(e)および(g)に示されるIn濃度の山の部分は、多層量子井戸構造活性層中の井戸層に対応し、In濃度の谷の部分は、多層量子井戸構造活性層中の障壁層に対応している。図4(c)および(g)から、1000時間エージング後、比較例2のLED素子の多層量子井戸構造活性層中の井戸層のInが障壁層へ拡散していることが分かる。図4(a)および(e)から、井戸層のInが障壁層へ拡散するこのような現象は、実施例1のLED素子1では発生していないことが分かる。

【0040】図5は、p型コンタクト層15中の水素濃度に対する1000時間通電後のLED素子の相対輝度を示す。相対輝度は、通電初期の輝度を100として示す。これらの素子は、n型電極16をAu/Moにより形成し、p型電極17をAu/PdまたはAu/Niにより形成した。図5に示されるように、p型電極17をAu/Pdにより形成した場合には、p型コンタクト層15中の水素濃度が 1×10^{19} atoms/cm³以下であれば1000時間エージング後にも素子の輝度は低下しない。また、p型電極17をAu/Niにより形成した場合には、p型コンタクト層15中の水素濃度が 4×10^{18} atoms/cm³以下であれば1000時間通電後にも素子の輝度は低下しない。

【0041】このように、p型電極17にはAu/Pdを用いることが好ましい。これは、Pdが水素貯蔵金属であり、p型コンタクト層15中の水素(残留水素)がp型電極17に吸着され、この残留水素が多層量子井戸構造活性層13に拡散することが妨げられるからである。なお、水素貯蔵金属としては、例えば、Pd、Sc、Y、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Tb、Ti、Zr、Hf、V、NbおよびTa等が知られている。p型電極17が水素貯蔵金属を含む場合に、残留水素がp型電極17に吸着されるという効果が得られる。p型電極17は、例えば、水素貯蔵金属を含む層構造を有し得る。あるいは、p型電極17は、水素貯蔵金属を含む金属間化合物であってもよい。

【0042】n型コンタクト層の水素濃度がLED素子の寿命に及ぼす影響を評価するために、以下に示される手順によりLED素子を作成した。反応炉内のガス中ににおける酸素分圧が10 Torr(酸素濃度1.3%)の条件下で、サファイア(0001面)基板10上に、AlNのバッファ層11およびGaN:Siのn型コンタクト層12を成長させ、その後、キャリアガスおよび有機金属のバーリングガスを窒素に切り替え、反応炉内の

ガスにおける残留酸素分圧を0.7 Torr (残留酸素濃度0.1%)として以降の工程を行うことによりLED素子を作成した。このLED素子のSIMS測定を実施したところ、p型コンタクト層15のMg濃度は 7×10^{19} atoms/cm³であり、水素濃度は 2×10^{18} atoms/cm³であり、n型コンタクト層12の水素濃度は 3×10^{17} atoms/cm³であることが判明した。この素子の初期特性は、駆動電流20mAで発光波長470nm、輝度2.7cd、動作電圧は4.1Vであった。1000時間エージング後の特性は、駆動電流20mAで発光波長470nm、輝度2.4cd、動作電圧は4.5Vであった。このように、1000時間エージング後には、輝度の低下と動作電圧の上昇とがみられた。なお、駆動電流20mAを一定に保っているので、動作電圧が上昇することは、素子の抵抗が上昇したことを示している。

【0043】p型層の成長条件はこの素子と同様にして、n型コンタクト層12の水素濃度を変化させたところ、n型コンタクト層12の水素濃度が 1×10^{17} atoms/cm³以上の場合、エージングの開始直後から動作電圧が上昇し、1000時間エージング後には素子の動作電圧の上昇と輝度の低下とがみられた。従って、長寿命のLED素子を実現するためには、n型コンタクト層12(n型層)の水素濃度が 1×10^{17} atoms/cm³以下であることが好ましい。

【0044】また、図1に示されるように、LED素子1のp型コンタクト層15は、多層量子井戸活性層13の上に蒸発防止層14を介して積層されている。蒸発防止層14は、A1を含んでいる。このA1の作用により、p型コンタクト層15中の残留水素が多層量子井戸活性層13に拡散し、多層量子井戸活性層13が劣化することがさらに防止される。なお、このような効果が十分得られるためには、蒸発防止層14(A1を含む層)の層厚は、5nm以上あることが望ましい。

【0045】なお、井戸層の組成はIn_{0.35}Ga_{0.65}Nに限られない。井戸層はA1を含んでもよい。井戸層の組成は、一般に、組成式In_xGa_(1-x-y)A_yN(0≤x、0≤y、x+y<1)で表わされる。障壁層の組成もGaNに限られず、一般に、組成式In_sGa_(1-s-t)A_tN(0≤s、0≤t、s+t<1)で表わされる。

【0046】なお、基板はサファイア(0001)C面に限るものではなく、A面、M面サファイア基板を用いてもよい。また、基板にSiC、SiまたはZnOを用いてもよい。結晶成長方法も、MOCVD法に限定されない。MBE法により成長されたLED素子でも、輝度の低下の様態は図3と同様であった。

【0047】このように、本発明によれば、結晶成長方法に依存することなく、LED素子における残留水素濃度が適切に制御され、長寿命のLED素子が実現され

る。

【0048】(実施例2)本発明の実施例2として、GaN基板上の発光ダイオード(LED)の例を示す。

【0049】図6は、本発明の実施例2のLED素子601の断面図である。LED素子601は、以下に示される手順により作成された。

【0050】サファイア(0001面)基板上にハイドライドVPE法で300μm厚のGaN:Siからなる膜を成長させ、研磨によりサファイア基板を除去することによりGaN(0001面)基板40が得られた。GaN基板40上に常圧MOCVD法を用いて基板温度1100°CでGaN:Siのn型コンタクト層41を1μm成長させた。この成長段階までのキャリアガスと有機金属のパブリングガスとはともに水素である。

【0051】次に基板温度を760°Cに下降させ、キャリアガスおよび有機金属のパブリングガスを窒素に切り替え、In_{0.35}Ga_{0.65}N:Siの井戸層(膜厚2nm)およびGaN:Siの障壁層(膜厚4nm)の4周期の多層量子井戸構造活性層42を成長させ、1000°CでAl_{0.1}Ga_{0.9}N:Mgの蒸発防止層43を20nm成長させた。その後、基板温度を1050°Cに上昇させ、GaN:Mgのp型コンタクト層44を0.3μm成長させた。素子構造成長後、キャリアガスは窒素ガスのまで、成長後の基板温度降下を行った。この際の基板温度降下速度は、10°C/minに設定した。

【0052】GaN(GaN:Si)基板40の裏面に、Ti/A1のn型電極45を形成し、p型コンタクト層44の表面に、Au/Pdのp型電極46を形成した。

【0053】このように作成されたLED素子601は、駆動電流20mAで発光波長470nm、輝度3.3cdで発光した。このときの動作電圧は3.1Vであった。

【0054】室温、駆動電流20mAでLED素子601の1000時間通電試験を行ったところ、1000時間通電後も発光波長、輝度および動作電圧に変化はなかった。

【0055】SIMS測定によりMg濃度と水素濃度との評価を行った。その結果、p型コンタクト層44のMg濃度は 9×10^{19} atoms/cm³であり、水素濃度は 3×10^{18} atoms/cm³であった。n型コンタクト層41の水素濃度は 1×10^{17} atoms/cm³の検出限界以下であることが判明した。p型コンタクト層44のMg濃度が 9×10^{19} atoms/cm³の場合、結晶成長後の基板温度降下速度が25°C/min以下であればp型層44の水素濃度は 4×10^{18} atoms/cm³以下であることが判明した。このSIMS測定は、n型電極45およびp型電極46を形成する前のウェハを用いて行った。

【0056】実施例2のLED素子601は、活性層4

2の膜厚がLED素子の寿命に与える影響を調べるために、活性層42中の井戸層の1層の膜厚を1~50nmまで変化させて素子を作成した。

【0057】比較例1の発光素子を以下に示される手順により作成した。活性層42成長後、キャリアガス及び有機金属のバーリングガスを水素に切り替え、Al_{0.1}Ga_{0.9}N:Mgの蒸発防止層43を成長させ、p型コンタクト層44を0.3μm成長させた。素子構造成長後、キャリアガスは水素ガスのままで、成長後の基板温度降下を行った。これは従来の製造方法である。なお、比較例1の発光素子も、活性層42中の井戸層の1層の膜厚を1~50nmまで変化させて作成した。

【0058】図7は、活性層42中の井戸層の1層の膜厚に対する1000時間通電後の素子の相対輝度を示す。相対輝度は、通電初期の輝度を100とした割合で示す。図7に示されるように、比較例1の素子は、活性層42中の井戸層の1層の膜厚が15nm以下の場合に素子劣化の度合いが大きい。この素子劣化は、水素とMgとの拡散によるものであることがSIMS分析により判明した。一方、実施例2のLED素子601は、Inn、水素およびMgの拡散はほとんど見られなかった。また、実施例2および比較例1の素子とともに、活性層42中の井戸層の1層の膜厚が15nm以上の場合には1000時間通電後の輝度の低下がみられる。この原因は、活性層42中の井戸層の1層の膜厚が増加すると、活性層のInGaNの格子緩和が起こり、これにより活性層の結晶性が劣化するためである。

【0059】(実施例3)本発明の実施例3として、減圧MOCVDにより作成されるレーザダイオード(LED)の例を示す。

【0060】図8は、本発明の実施例3のLD素子801の断面図である。LD素子801は、以下に示される手順により作成された。

【0061】サファイア(0001面)基板20上に76Torrの減圧MOCVD法によりGaNバッファ層21を基板温度550°Cで成長させ、基板温度1100°CでGaN:Siのn型コンタクト層22を4μm成長させた。その後、基板温度800°CでIn_{0.05}Ga_{0.95}N:Siのクラック防止層23を50nm成長させ、基板温度を再び1100°CとしてAl_{0.1}Ga_{0.9}N:Siのn型クラッド層24を0.5μm成長させ、GaN:Siのn型ガイド層25を0.1μm成長させた。この成長段階までのキャリアガスと有機金属のバーリングガスとはともに水素である。

【0062】その後、キャリアガスおよび有機金属のバーリングガスを窒素に切り替え、反応炉内のガス中における酸素(O₂)分圧が0.2Torr(O₂濃度0.3%)の条件下で、基板温度を760°CにしてIn_{0.05}Ga_{0.95}N:Siの層を4nm成長させ、その後、In_{0.15}Ga_{0.85}N:Siの井戸層(層厚2nm)/In_{0.}

{0.5}Ga{0.95}N:Siの障壁層(層厚4nm)の5周期の多層量子井戸構造活性層26を成長させ、同温度でAl_{0.1}Ga_{0.9}N:Mgの蒸発防止層27を1.0nm成長させた。

【0063】次に、キャリアガス及び有機金属のバーリングガスを窒素のままで、基板温度1100°CでGaN:Mgのp型ガイド層28を0.1μm成長させ、Al_{0.1}Ga_{0.9}N:Mgのp型クラッド層29を0.5μm成長させ、GaN:Mgのp型コンタクト層30を10.3μm成長させた。このように、p型層(p型ガイド層28、p型クラッド層29およびp型コンタクト層30)を形成するステップは、基板温度を1100°Cの(第1の成長温度)に保ちつつ、水素ガスを含まない雰囲気中で窒化物半導体材料を成長させるステップを包含する。なお、キャリアガスおよび有機金属のバーリングガスとしては、アルゴン、ヘリウム等の水素以外の不活性ガスであってもよい。

【0064】素子構造成長後も、反応炉内に水素ガスは導入せず基板温度の降下を行った。このように、p型層(p型ガイド層28、p型クラッド層29およびp型コンタクト層30)を形成した後に、サファイア基板20の温度は、水素ガスを含まない雰囲気中で1100°Cから室温まで降下させられる。水素ガスを含まない雰囲気中の温度降下は、必ずしも室温まで行なわれる必要はない。少なくとも基板温度が400°Cに降下するまでの間、雰囲気が水素ガスを含まないようにすればよい。

【0065】素子構造が成長したウェハを2分割し、一方のウェハにn型コンタクト層22が露出するまで200μm幅のストライプ状にエッチングを行い、p型コンタクト層30の表面にはAu/Pdのp型電極32を2μm幅のストライプ状に形成し、n型コンタクト層22の表面にTi/Alのn型電極31を形成した。

【0066】LD素子801は、室温でCW発振(continuous wave operation:連続発振)した。この時のしきい値電流は25mAであり、しきい値電圧は5.1Vであった。

【0067】図8に示されるように、本発明のLD素子801(半導体発光素子)は、サファイア基板20(基板)と、サファイア基板20の上にバッファ層21を介して積層され、窒化物半導体から形成されたn型層(n型コンタクト層22、n型クラッド層24およびn型ガイド層25)と、n型層の上に積層された多層量子井戸活性層26と、多層量子井戸活性層26の上に蒸発防止層27を介して積層され、窒化物半導体から形成されたp型層(p型ガイド層28、p型クラッド層29およびp型コンタクト層30)とを備えている。

【0068】なお、図8に示されるLD素子801は、クラック防止層23を含んでいるが、これはレーザ発振のために必須の構造ではない。実施例4で後述する例では、クラック防止層を有さないLD素子の構造が示され

る。

【0069】SIMS測定により、LD素子801の水素濃度とMg濃度との評価を行った。なお、このSIMS測定は、2分割したウェハの他方を用いて行なわれた。

【0070】p型層の水素濃度は、p型ガイド層28、p型クラッド層29、p型コンタクト層30とも 3×10^{18} atoms/cm³であり、Mg濃度は、p型ガイド層28、p型クラッド層29およびp型コンタクト層30とも 9×10^{19} atoms/cm³であった。

【0071】実施例1において上述した原理と同じ原理により、p型層が成長する際の反応炉内のガス中における酸素の濃度を制御することにより、p型層の水素濃度を制御することができる。また、反応炉内のガス中における酸素の濃度を制御する代わりに、あるいは、酸素の濃度を制御することに加えて、反応炉内のガス中における臭素、塩素、オゾン、CO、CO₂、NOおよびNO₂の濃度の少なくとも1つを制御することによっても、p型層（p型ガイド層28、p型クラッド層29およびp型コンタクト層30）の水素濃度を制御することができる。本実施例では、反応炉内のガス中におけるO₂の濃度は0.3%である。反応炉内のガス中における酸素の濃度が0.00001%以上1%以下であれば、p型層の水素濃度は 4×10^{18} atoms/cm³であること判明した。

【0072】比較例1のLD素子も作成した。比較例1のLD素子は、p型層（p型ガイド層28、p型クラッド層29およびp型コンタクト層30）を成長する際のキャリアガスとして水素を用い、p型層の成長後、温度800°C、窒素濃度100%の雰囲気中で20分間アニールし、得られたウェハから上述した手順により作成された。比較例1のLD素子も室温でCW発振することが確認された。この発振におけるしきい値電流は30mAであり、しきい値電圧は5.7Vであった。なお、アニール後に比較例1のLD素子のp型層の水素濃度をSIMS測定により評価すると、 2×10^{19} atoms/cm³であった。

【0073】比較例2のLD素子も作成した。比較例2のLD素子は、構造は実施例3のLD素子801と同様であるが、p型層（p型ガイド層28、p型クラッド層29およびp型コンタクト層30）の水素濃度は 8×10^{16} atoms/cm³以下（検出限界以下）である。比較例2のLD素子を作成するプロセスは実施例3のLD素子801と同様である。比較例2のLD素子も室温でCW発振した。この発振におけるしきい値電流は30mAであり、しきい値電圧は6.9Vであった。このように、比較例2のLD素子は、実施例3のLD素子801および比較例1のLD素子よりもしきい値電圧が高くなっていた。

【0074】また、活性層26をIn_{0.15}Ga_{0.85}N：

Si(2nm)の単層にしたLD素子も作製した。活性層26を单層にしたLD素子では、p型層を成長する際のキャリアガスとして水素を用いた場合も窒素を用いた場合もレーザ発振は起らなかった。

【0075】実施例3、比較例1および比較例2のLD素子の通電試験を行った。

【0076】図9は、エージング時間（通電時間）に対するしきい値電流の変化を示す。しきい値電流の増加は、LD素子の劣化を意味する。実施例3のLD素子801は、8000時間の通電後もCW発振することが確認された。

一方、図9に示されるように、p型層の水素濃度が 2×10^{19} atoms/cm³である比較例1のLD素子は10時間の通電後に素子が劣化し、p型層の水素濃度が 8×10^{15} atoms/cm³以下である比較例2のLD素子は150時間の通電後に素子が劣化した。このように、本発明の実施例3のLD素子801は、長寿命のLD素子（半導体発光素子）となっている。

【0077】図10は、p型コンタクト層30の水素濃度に対するLD素子801の寿命を示す。p型電極32の材料としてAu/Pd、Au/PtおよびAu/Niの3種類を用いた。n型電極31の材料としては、Ti/A1のみを用いた。なお、図10において、8000時間通電後に劣化が起こっていないLD素子（すなわち、8000時間以上の寿命を有するLD素子）は、8000時間の寿命を有するLD素子として示されている。これは、図10に示される測定データを取得した時点で、通電試験が開始してから8000時間しか経過していないからである。5000時間以上の寿命を有するLD素子が良品と見なされる。図10には、5000時間の寿命を破線1001で示す。

【0078】図10から分かるように、p型電極32の材料がLD素子の寿命に大きく影響する。p型電極32の材料としてAu/Pdを用いた場合、p型コンタクト層30の水素濃度が 1×10^{19} atoms/cm³以上 1×10^{19} atoms/cm³以下であれば、5000時間以上のLD素子の寿命が達成される。p型電極32の材料としてAu/Niを用いた場合、p型コンタクト層30の水素濃度が 3×10^{19} atoms/cm³以上 6×10^{19} atoms/cm³以下であれば、5000時間以上のLD素子の寿命が達成される。p型電極32の材料としてAu/Ptを用いた場合、p型コンタクト層30の水素濃度が 4×10^{19} atoms/cm³以上 5×10^{19} atoms/cm³以下であれば、5000時間以上のLD素子の寿命が達成される。なお、図10を参照して上述した通電試験に用いられたLD素子のp型クラッド層29の水素濃度の範囲は、p型コンタクト層30の水素濃度の範囲と同じ 8×10^{15} atoms/cm³以上 3×10^{19} atoms/cm³以下であった。

【0079】図10から分かるように、長寿命のLD素

子を実現するためには、p型層の水素濃度は 1×10^{16} atoms/cm³以上 1×10^{19} atoms/cm³以下であることが好ましい。また、p型層のMg濃度は、 4×10^{19} atoms/cm³以上 1×10^{21} atoms/cm³以下であることが好ましい。p型層中のMg濃度が高くなると、p型層中の水素濃度も高くなってしまい、好ましくない。水素濃度がこの好ましい範囲よりも低い場合にLD素子の寿命が短くなる原因是、水素濃度が極端に低いとp型層が高抵抗化し、動作電圧が高くなるからだと考えられる。

【0080】なお、p型層に含まれる3つの層（p型ガイド層28、p型クラッド層29およびp型コンタクト層30）のそれぞれで水素の濃度が一致していることは必須ではない。p型層に含まれる3つの層のそれぞれで水素の濃度が上述した好ましい範囲にあれば、長寿命の半導体発光素子が実現されるという本発明の効果が得られる。

【0081】また、図10から分かるように、p型電極32にはAu/Pdを用いることが好ましい。これは、実施例1においてp型電極17に関して上述した原理と同様の原理による。すなわち、p型電極32が水素貯蔵金属を含む場合に、残留水素がp型電極32に吸着されるという効果が得られる。p型電極32は、例えば、水素貯蔵金属を含む層構造を有し得る。あるいは、p型電極32は、水素貯蔵金属を含む金属間化合物であってよい。

【0082】また、p型クラッド層29の水素濃度に対するLD素子の寿命の評価を行ったところ、図10に示される関係と同様の関係が得られた。p型電極32の材料としてAu/Pdを用いた場合、p型クラッド層29の水素濃度が 1×10^{16} atoms/cm³以上 1×10^{19} atoms/cm³以下であれば、5000時間以上のLD素子の寿命が達成される。p型電極32の材料としてAu/Niを用いた場合、p型クラッド層29の水素濃度が 3×10^{16} atoms/cm³以上 6×10^{18} atoms/cm³以下であれば、5000時間以上のLD素子の寿命が達成される。p型電極32の材料としてAu/Ptを用いた場合、p型クラッド層29の水素濃度が 4×10^{16} atoms/cm³以上 5×10^{18} atoms/cm³以下であれば、5000時間以上のLD素子の寿命が達成される。

【0083】n型層（n型コンタクト層22、n型クラッド層24およびn型ガイド層25）の水素濃度もLD素子801の寿命に影響する。n型層の水素濃度が 1×10^{17} atoms/cm³以下であることが好ましい。

【0084】また、図8に示されるように、LD素子801のp型層は、多層量子井戸活性層26の上に蒸発防止層27を介して積層されている。蒸発防止層27は、Alを含んでいる。このAlの作用により、p型層中の残留水素が多層量子井戸活性層26に拡散し、多層量子

井戸活性層26が劣化することがさらに防止される。なお、このような効果が十分得られるためには、蒸発防止層27（Alを含む層）の層厚は、5 μm以上あることが望ましい。

【0085】なお、井戸層の組成はIn_{0.15}Ga_{0.85}Nに限られない。井戸層はAlを含んでもよい。井戸層の組成は、一般に、組成式In_xGa_(1-x-y)Al_yN（0 ≤ x、0 ≤ y、x+y < 1）で表わされる。障壁層の組成もIn_{0.05}Ga_{0.95}Nに限られず、一般に、組成式In_sGa_(1-s-t)Al_tN（0 ≤ s、0 ≤ t、s+t < 1）で表わされる。

【0086】実施例3のLD素子801では、クラッド層（n型クラッド層24およびp型クラッド層29）にAl_{0.1}Ga_{0.9}Nを用いているが、Alの混晶比は0.1に限られない。また、クラッド層として、AlGaN/GaN、AlGaN/AlGaN、AlGaInN/AlGaN、AlGaInN/GaN等の超格子構造が用いられてもよく、AlGaN/GaN、AlGaN/AlGaN、AlGaInN/AlGaN等の超格子構造が用いられてもよい。このように、p型クラッド層29がAlを含むことにより、蒸発防止層27がAlを含む場合と同様に、p型コンタクト層30の残留水素が多層量子井戸構造活性層26に拡散することを防止できる。また、n型クラッド層24がAlを含むことにより、n型コンタクト層22の残留水素が多層量子井戸構造活性層26に拡散することを防止できる。

【0087】図11は、p型層のMg濃度に対するLD素子801の寿命を示す。p型電極32の材料としてAu/Pdを用いた。p型層のMg濃度が 2×10^{19} atoms/cm³以上 2×10^{21} atoms/cm³以下の場合に、p型層の水素濃度は 1×10^{18} atoms/cm³以上 3×10^{19} atoms/cm³以下となる。図11から分かるように、p型層のMg濃度が 4×10^{19} atoms/cm³以上 1×10^{21} atoms/cm³以下であれば、5000時間以上のLD素子の寿命が達成される。

【0088】（実施例4）本発明の実施例4として、GaN基板上のLD素子の例を示す。

【0089】図12は、本発明の実施例4のLD素子1201の断面図である。LD素子1201は、以下に示される手順により作成された。

【0090】サファイア（0001面）基板上にハイドライドVPE法で300 μm厚のGaN:Si膜を成長し、研磨によりサファイア基板を除去したGaN（0001面）基板50が得られた。基板50上に、基板温度1100°CでGaN:Siのn型コンタクト層51を0.8 μm成長させ、Al_{0.1}Ga_{0.9}N:Siのn型クラッド層52を0.5 μm成長させ、GaN:Siのn型ガイド層53を0.1 μm成長させた。この成長段階までのキャリアガスと有機金属のバーリングガスとはともに水素である。

【0091】その後、キャリアガスおよび有機金属のバーリングガスを窒素に切り替え、成長温度を750°Cにして $In_{0.15}Ga_{0.85}N:Si$ の井戸層(層厚2nm)/ $In_{0.05}Ga_{0.95}N:Si$ の障壁層(層厚4nm)の3周期の多層量子井戸構造活性層54を成長させ、同温度で $Al_{0.1}Ga_{0.9}N:Mg$ の蒸発防止層55を10nm成長させた。

【0092】次に、キャリアガスおよび有機金属のバーリングガスは窒素のままで、成長温度1050°Cで $GaN:Mg$ のp型ガイド層56を0.1μm成長させ、 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N:Mg$ のp型クラッド層57を0.5μm成長させ、 $GaN:Mg$ のp型コンタクト層58を0.3μm成長させた。この際の反応炉内のガス中における酸素濃度は0.08%とした。

【0093】次に、素子構造が成長したウェハに200μm幅のストライプ状にn型コンタクト層51が露出するまでエッチングを行い、p型コンタクト層58の表面にAu/Pdからなるp型電極60を5μm幅のストライプ状に形成し、n型GaN:Si基板50の裏面にはTi/AIからなるn型電極61を形成した。

【0094】このようにして製作されたLD素子1201は、室温でCW発振した。この発振におけるしきい値電流は20mAであり、しきい値電圧は5.0Vであった。LD素子1201を室温、駆動電流35mAで通電試験を行った結果、通電開始後1000時間経過してもしきい値電流およびしきい値電圧に変化はみられず、長寿命のLD素子が実現されていることが分かった。

【0095】上述したように、基板の材料および用いられる成長方法によらず、本発明によって長寿命の半導体発光素子(LED素子またはLD素子)が実現される。

【0096】

【発明の効果】本発明によれば、半導体発光素子のp型層の水素元素の濃度は、 $1 \times 10^{16} atoms/cm^3$ 以上 $1 \times 10^{19} atoms/cm^3$ 以下にされる。これにより、p型層の水素が多層量子井戸構造活性層に拡散することが抑制され、多層量子井戸構造活性層の劣化が抑制される。従って長寿命の半導体発光素子が実現される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1のLED素子1の断面図である。

【図2】SIMS測定により測定された素子構造中のM

g濃度と水素濃度とを示す図である。

【図3】実施例1のLED素子1および比較例1~3のLED素子の通電試験結果を示す図である。

【図4】(a)~(d)はそれぞれ、本実施例のLED素子1および比較例1~3のLED素子のエージング前の活性層周辺のSIMSプロファイルを示す図であり、(e)~(h)はそれぞれ、本実施例のLED素子1および比較例1~3のLED素子の1000時間エージング後の活性層周辺のSIMSプロファイルを示す図である。

【図5】p型コンタクト層15中の水素濃度に対する1000時間通電後のLED素子の相対輝度を示す図である。

【図6】本発明の実施例2のLED素子601の断面図である。

【図7】活性層42中の井戸層の1層の膜厚に対する1000時間通電後の素子の相対輝度を示す図である。

【図8】本発明の実施例3のLD素子801の断面図である。

【図9】エージング時間(通電時間)に対するしきい値電流の変化を示す図である。

【図10】p型コンタクト層30の水素濃度に対するLD素子801の寿命を示す図である。

【図11】p型層のMg濃度に対するLD素子801の寿命を示す図である。

【図12】本発明の実施例4のLD素子1201の断面図である。

【符号の説明】

10、20 サファイア基板

30 40、50 GaN基板

11、21 バッファ層

12、22、41、51 n型コンタクト層

13、26、42、54 多層量子井戸構造活性層

14、27、43、55 蒸発防止層

15、30、44、58 p型コンタクト層

16、31、45、61 n型電極

17、32、46、60 p型電極

24、52 n型クラッド層

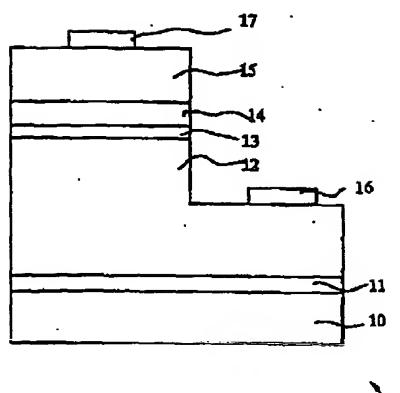
25、53 n型ガイド層

28、56 p型ガイド層

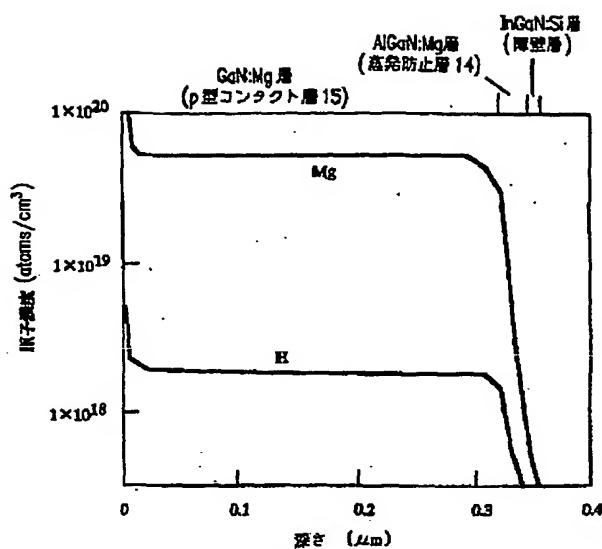
29、57 p型クラッド層

23 クラック防止層

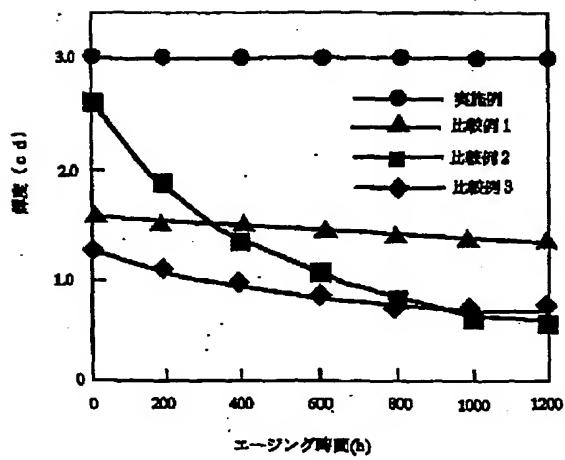
【図1】



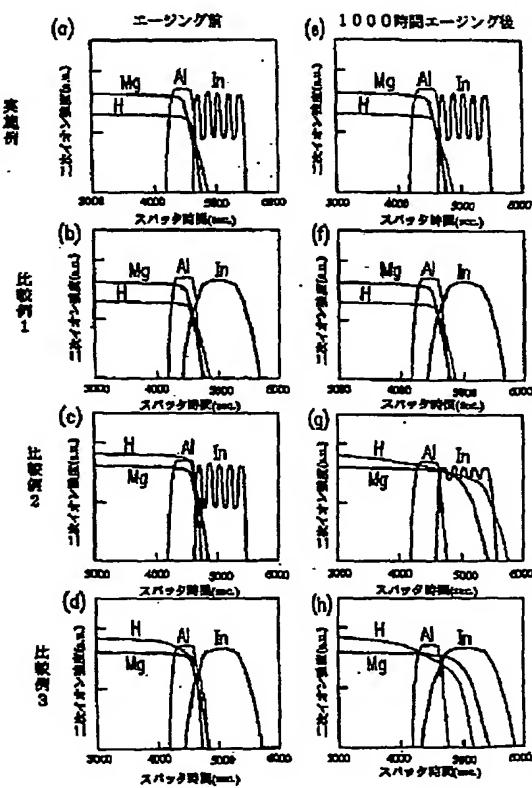
【図2】



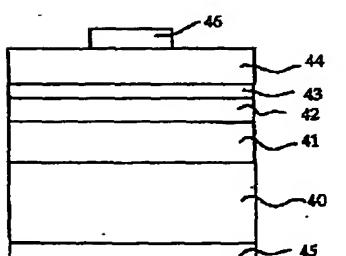
【図3】



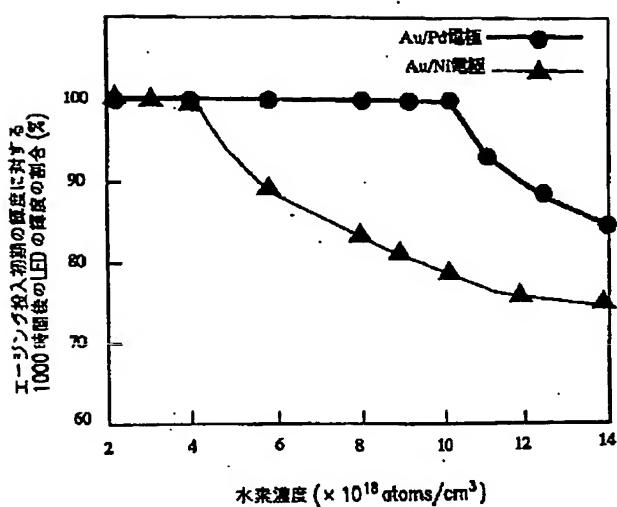
【図4】



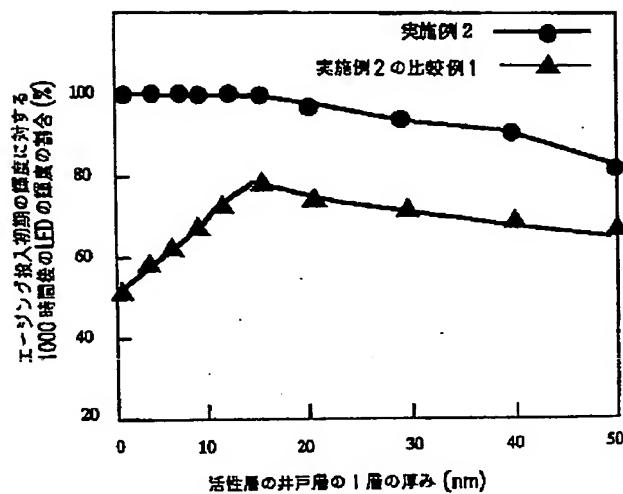
【図6】



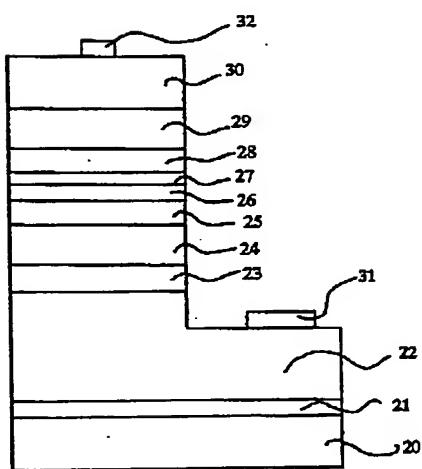
【図5】



【図7】

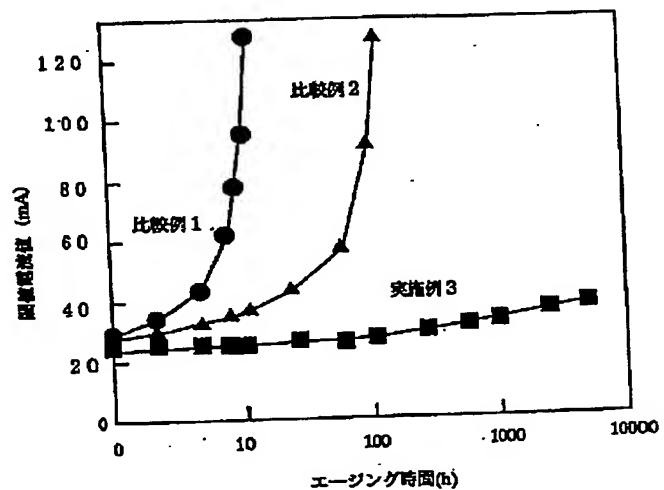


【図8】

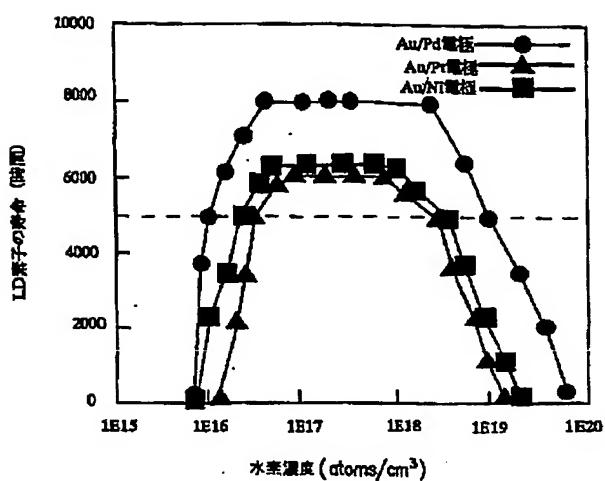


801

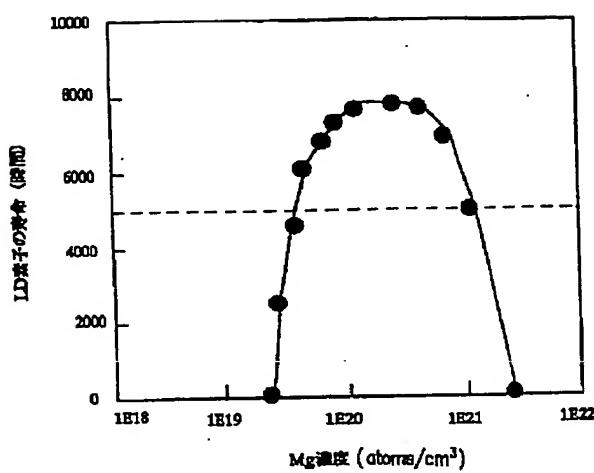
【図9】



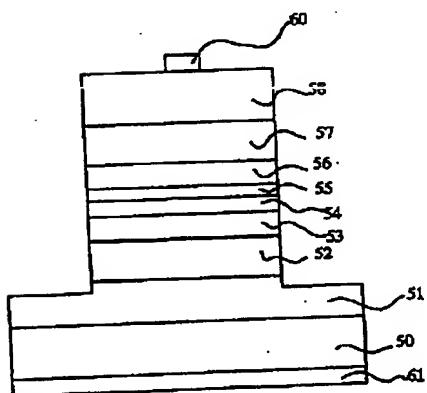
【図10】



【図11】



【図12】



1201